



Grzegorz BUJAK
IMT



Sterownik do turbiny wiatrowej Controller for a wind turbine

promotor: **dr inż. Grzegorz Karpień** – Katedra Robotyki i Mechatniki

Streszczenie: Celem poniższej pracy było opracowanie układu sterowania przydomową turbiną wiatrową. Jednym z jego podstawowych zadań jest sterowanie prędkością obrotową turbiny w celu utrzymania najwyższej możliwej sprawności przy różnych prędkościach wiatru. Sterownik odpowiada również za działanie przekształtnika elektroenergetycznego, który dostarcza wytworzoną energię do sieci. Zastosowano do tego celu układy sterowania synchronizujące falownik z siecią oraz regulatory jego prądów i napięć wyjściowych. Dodatkowo zaimplementowano modulację wektorową sygnałów sterujących falownikiem w celu obniżenia zakłóceń harmonicznych wprowadzanych do sieci. W środowisku Matlab/Simulink utworzono model całego urządzenia razem z układem sterowania oraz siecią elektroenergetyczną. Pozwoliło to na szybkie opracowanie układu oraz dobranie parametrów regulatorów. Analizując wyniki przeprowadzonych symulacji stwierdzono, że układ sterowania działa prawidłowo w procesie rozruchu turbiny przy różnych prędkościach wiatru oraz gdy prędkość wiatru zmienia się w trakcie pracy urządzenia. Z użyciem utworzonego modelu układu sterowania wygenerowano kod, który wykorzystano do zaprogramowania mikrokontrolera z serii STM32F4 i przeprowadzenia symulacji w układzie „processor-in-the-loop”. Uzyskane wyniki były zgodne z symulacjami przeprowadzonymi na komputerze, co świadczy o poprawności implementacji układu sterowania.

Cel pracy

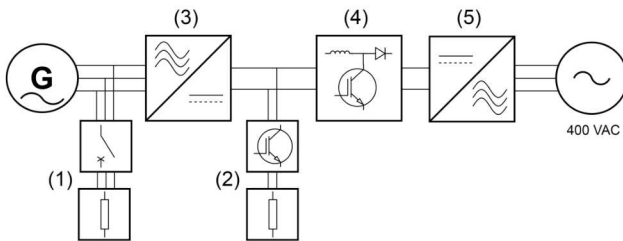
Utworzenie układu sterowania przydomową turbiną wiatrową oraz przekształtnikiem elektroenergetycznym dostarczającym wytworzoną energię do sieci trójfazowej o napięciu międzyfazowym 400V. Sterowanie odbywa się w sposób maksymalizujący sprawność turbiny przy danej prędkości wiatru oraz minimalizujący zakłócenia wprowadzane do sieci elektroenergetycznej.

Konwersja energii elektrycznej

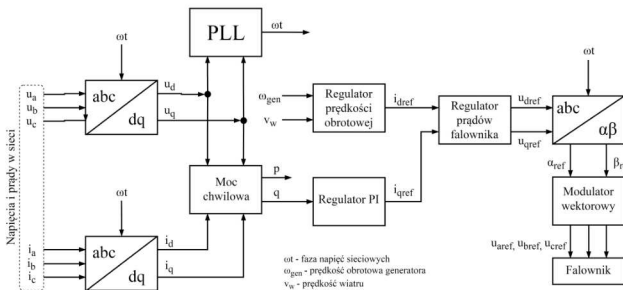
Rozważana turbina należy do grupy turbin wiatrowych o zmiennej prędkości obrotowej, co wiąże się ze zmienną częstotliwością generowanego prądu. Z tego powodu jest ona podłączona do sieci przez przekształtnik elektroenergetyczny składający się z:

- prostownika trójfazowego (3)
- przetwornicy DC/DC podwyższającej i stabilizującej napięcie (4)
- falownika wytwarzającego prąd przemienny o zadanej częstotliwości (5)

Dodatkowo urządzenie wyposażone jest w zespoły rezystorów przeznaczonych do hamowania turbiny w razie potrzeby. (1, 2)



Układ sterowania turbiną wiatrową



Do głównych zadań układu sterowania należy:

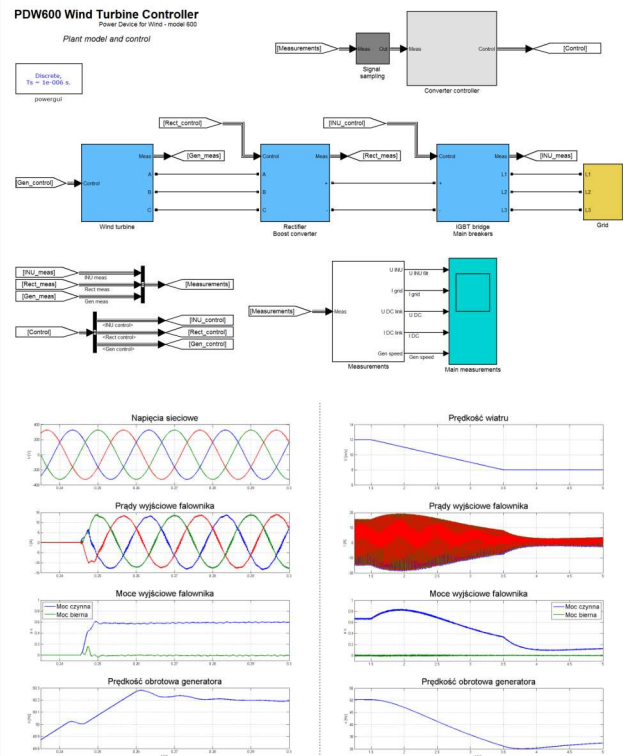
- utrzymanie prędkości obrotowej generatora na poziomie zapewniającym maksymalną możliwą sprawność przy danej prędkości wiatru
- synchronizacja falownika z siecią (układ PLL)
- regulacja składowych mocy wyjściowych - czynnej i biernej

Zmierzone wartości napięć i prądów są transformowane do układu współrzędnych dq. Upraszcza to budowę układu sterowania, w szczególności pętli sprzężenia fazowego synchronizującej układ z siecią oraz regulatorów napięć i prądów wyjściowych.

W celu zmniejszenia emisji zakłóceń harmonicznych zaimplementowano modulator wektorowy generujący impulsy sterujące falownikiem.

Realizacja pracy - „model-based design”

Pracę wykonano z wykorzystaniem środowiska Matlab/Simulink wraz z bibliotekami SimPowerSystems. W pierwszej kolejności utworzono model sterowanego urządzenia i sieci elektroenergetycznej, a następnie model sterownika. Umożliwiło to szybkie opracowanie układu sterowania oraz dostrojenie zawartych w nim regulatorów.



Przyłączenie przekształtnika do sieci przy prędkości wiatru 12 m/s.

Spadek prędkości wiatru w trakcie działania turbiny.

Symulacje przeprowadzono przy obniżonej bezwładności wirnika turbiny w celu skrócenia czasu symulacji.

Symulacja „processor-in-the-loop”

Do implementacji układu sterowania wykorzystano mikrokontroler STM32F407, podłączony do komputera przez port szeregowy. Celem symulacji jest sprawdzenie poprawności oraz szybkości wykonywania kodu wygenerowanego na podstawie modelu układu sterowania. Stosując podstawowe metody optymalizacji modelu oraz dostosowując go pod ten mikrokontroler, osiągnięto średni czas wykonywania jednego kroku obliczeniowego na poziomie 23 μ s. Ta wartość jest o rząd wielkości mniejsza od przyjętego czasu próbkowania sygnałów, co pozostawia duży zapas mocy obliczeniowej pozwalający na dalszy rozwój sterownika.

2. Profilled Sections of Code

Section	Maximum Execution Time	Average Execution Time	Maximum Self Time	Average Self Time	Calls
PDW_Controller_Init	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	1
PDW_Controller_Init	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	1
PDW_Controller_0.00025_01	0.000025	0.000023	0.000025	0.000023	24001